

MANET における経路切断を回避するルーティング方式の提案と評価

田内 雅之、井手口 哲夫、奥田 隆史、田 学軍

愛知県立大学大学院 情報科学研究科

モバイルアドホックネットワークにおける、技術的な課題の一つにルーティングプロトコルがある。これは各ノードの移動によりネットワークポロジが動的であるため、頻りに宛先経路が変更されるからである。本論文では、通信中の経路上にあるノードが経路の切断危険性を判定し、切断前に再構築を行うことで切断を回避する手法を提案する。そして、代表的なプロトコルである AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector routing protocol) にこの手法を追加し、計算機シミュレーションの結果と実環境での実測結果により提案方式の性能評価を行う。

Proposal of Routing Method with Route Break Avoidance and its Evaluation in MANET

Masayuki Tauchi, Tetsuo Ideguchi, Takashi Okuda, Xuejun TIAN

Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

In mobile ad-hoc networks, the routing protocol is one of the important subjects. Because the network topology is dynamic due to the mobility of each node, a destination route is changed frequently. In this paper, we propose a route maintenance algorithm to avoid route breaks. For break avoidance, each intermediate node on an active route detects a critical route, and re-establishes a new route before a route break. So, we append the function of break avoidance to AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector routing protocol). Then, to evaluate the performance of our proposal, we present the computer simulation and the experimental implementation on laptop PCs.

1. はじめに

情報通信端末の小型化や無線通信技術の発展により、簡易性や柔軟性を持つモバイル・ワイヤレスネットワーク上の通信が増加している。また今後、ユビキタスネットワーク社会の実現へ向け、その一翼をになう技術として、モバイルアドホックネットワーク (MANET: Mobile Ad-hoc NETWORKS) [1],[2],[3]が注目されている。アドホックネットワークとはノート PC、PDA、携帯電話など、無線通信メディアを備えた端末で構成される自律分散型の無線ネットワークのことである。各ノードがルータ機能を持つことでパケットを中継するマルチホップ通信が行われ、基地局などのインフラに依存せず、安価にその場限りのネットワークを構築できる。しかし、アドホックネットワークにはいくつかの技術的な課題が残されており、その中でも経路制御方式 (ルーティングプロトコル) が主要な課題とされている。つまり、アドホックネットワークでは互いに無線通信範囲に存在しない端末の間で、複数の端末を介してデータ通信を行うためにパケットを中継する端末を選択し、端末間の経路を確立する必要がある。また各端末の移動やネットワークへの参加や退出でネットワークポロジが動的に変化するため宛先経路が頻りに変更される。このため、有線で用いられるルーティングプロトコルをそのまま適用することが困難であることからアドホックに特化したプロトコルが必要とされている。

アドホックルーティングの方式は大きく分けてプロアクティブ型とリアクティブ型に分類される。プロアクティブ型はノード間で定期的に制御情報を交換することで経路表を更新し、宛先経路を予め確立しておく方式である。それに対してリアクティブ型は送信元ノードにおいて通信要求が発生してから宛先経路を探索する方式である。本研究では、MANET 環境において各ノードには処理能力やバッテリーの制限があるためオーバーヘッドを抑えることが求められることを考慮してリアクティブ型に関する研究を行う。リアクティブ型の特徴として、通信要求が無い限り経路を構築しないためプロアクティブ型に比べて制御情報の交換が少なくオーバーヘッドが抑えられるが、通信開始までに時間がかかり、宛先経路が切断

するたびに新しい経路を再構築する必要がある。しかし、リアクティブ型のルーティングプロトコルのほとんどがエンドノード間の通信経路が切断されてからその経路の再構築を行っている。これでは通信途中のパケットが損失し、経路再構築が終了するまで通信が途切れ、スループットが低下してしまう。

この問題を解決するために、いくつかの方式が提案されている。その一つとして、リンク遅延、電波強度、バッテリー残量、ノード負荷などをメトリックとして宛先経路を探索し、探索された経路の中から最も良い経路を選択することで、長期的に安定した経路を確立する方式がある [3],[4]。これらの方式では、1 度確立された経路は長時間保たれるので全体の探索回数を低減できる。

そのほかに、経路探索時に複数の宛先経路を確立し、経路切断時に別の経路に切り替える、または同時に複数の経路を用いてパケットを転送する方式 (マルチパスルーティング) がある [5]。ある経路が切断されても別の経路を使用すればよい結果的に有効な宛先経路を長時間保持できる。また、マルチパスルーティングには複数の経路を均等に使用するためトラフィックが分散する効果もある。

しかし、ある時間 T に確立された有効な経路が時間 $T + t$ には有効であるとは限らないアドホックネットワークにおいて、宛先経路が長時間有効であるのは確率的に高いということであり、経路切断がなくなるわけではない。そこで本研究は、経路切断を回避するルーティングプロトコルにより通信性能が向上することを目的として、代表的なプロトコルである AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector routing protocol) [6] に、経路切断回避手法を導入した AODV-BA (AODV with Break Avoidance) を提案する。そして、計算機シミュレーションと、無線 LAN アダプタを備えたノート PC を用いた実験により、提案方式の性能評価を行う。

2. 従来方式 (AODV)

本論文で提案する方式のベースとなる AODV について述べる。プロトコルの特徴はリアクティブ型であるが各ノード

が経路表を持ち、制御パケットから取得する経路情報の新しさをその情報のシーケンス番号で判断することである。オンデマンドに発生した制御パケットを受信した時、得られた経路情報のシーケンス番号が経路表内のその宛先のルートエントリにあるシーケンス番号と比較して大きい値、または等しいかつホップ数がより小さい値なら経路表を更新する。経路表を元を受信したパケットをフォワーディングし、もしある宛先のルートエントリが数秒間使用されていない場合、そのエントリは無効なものとなり、その後削除される。AODVは大きく分けて2つのフェーズがあり、経路探索 (Route Discovery) フェーズで宛先経路を探索し、経路維持 (Route Maintenance) フェーズで確立した経路を維持する。

2.1 経路探索 (Route Discovery)

送信元ノードにおいて通信要求が発生すると経路表を参照し、有効経路がなければ宛先ノードへの経路要求パケット (route request : RREQ) をブロードキャストする。各ノードが RREQ を受信すると、経路表に送信元ノードへのリバースルートを作成または更新する。そのノードの経路表に宛先への有効経路がなければ再び RREQ を再ブロードキャストする。送信元ノードから RREQ がフラッドイングされ宛先ノードに到達すると、宛先ノードはリバースルートを作成または更新し、増加させたシーケンス番号を付加した RREP (route replay : RREP) をユニキャストする。各ノードが RREP を受信すると宛先ノードへのフォワードルートが作成または更新し、リバースルートへ RREP を転送する。リバースルートに沿って送信元ノードに RREP が到達すると、フォワードルートを作成または更新し、通信を開始する。図1に送信元ノード S が RREQ をブロードキャストし、宛先ノード D が RREP をユニキャストする例を示す。

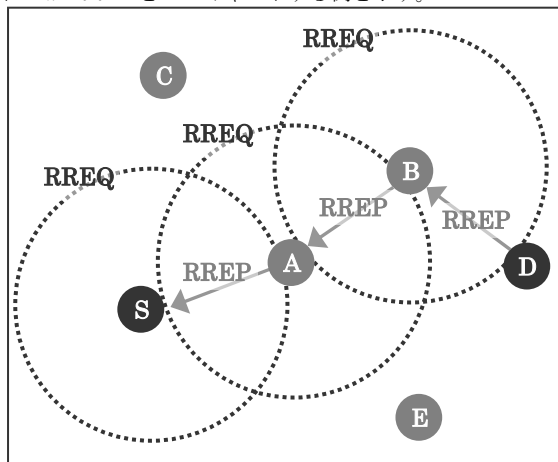


図1 経路探索

また RREQ を受信したノードが宛先ノードへの有効経路を持つなら、宛先ノードの代わりに送信元ノードへ RREP をユニキャストする。このとき RREQ を受信したノードが宛先ノードに向けて経路要求があったことを通知するために Gratuitous-RREP 送信する。この経路探索の間、各ノードは以前に受信したことがある (同じ発生元 IP アドレスと RREQ ID を含む) RREQ を処理しないためループが避けられ、オーバーヘッドが軽減される。また AODV では経路上が双方向リンクであることを前提としているため、双方向リンクであることを確認するために RREP の応答である RREP-ACK を用いる。

2.2 経路維持 (Route Maintenance)

各ノードは周辺ノードとの接続性を確認するために定期的に Hello パケットをブロードキャストする。IP ヘッダの TTL=1 とした RREP を Hello パケットとして送信する。あ

るノードから Hello パケットを一定時間受信しなくなると、そのノードとのリンクが切断したと判断する。この他に MAC 層の応答確認を受信しないなどからノード間のリンク切断を検出すると、そのノードを次ホップとする宛先ノードに対する経路を無効にする。

切断を検出したノードが送信元ノードより宛先ノードに近い場合 (宛先ホップ数が送信元ホップ数より小さい場合) に、その宛先に対して経路修復 (Local Repair) を行う。経路修復は上記と同様の経路探索を行い、その間に到着するパケットはバッファに保持され、経路修復が成功すると再び通信を開始する。

経路修復の失敗または送信元へ近い場合には送信元へ向け経路エラーパケット (route error : RERR) をブロードキャストする。RERR には不到達となった宛先情報が含まれ、RERR を受信した中間ノードは経路表内に RERR の不到達宛先経路と同じ経路を持ち、なおかつその経路の次ホップが RERR の IP ヘッダ内の送信元 IP アドレスと同じである場合、その経路を無効とし再び RERR をブロードキャストする。送信元ノードが RERR を受信すると同様にその経路を無効とし、再び経路探索する。図2にノード A と B 間のリンクが切断したとき、RERR が送信される例を示す。

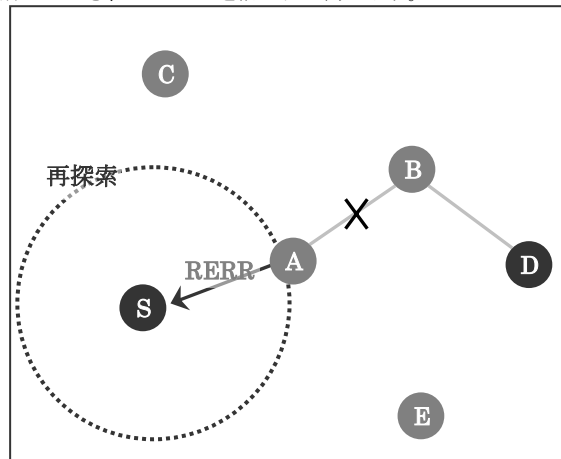


図2 経路維持

3. 提案方式 (AODV-BA)

本論文で提案する AODV-BA は、AODV を拡張した方式である。本提案方式では、通信中の経路上にある中間ノードが、受信電波、経路の重複、バッテリー残量、周辺密度の4つの要素から宛先経路の切断危険を判定する。そして、切断危険を判定すると RERR により上流ノードに切断危険を通知し、事前に経路再構築を行う。

3.1 受信電波

受信電波は理論的に次式のようにノード間の距離に依存する (P_t : 送信電力、 d : 距離) [7]。このため、ノード間の距離が通信レンジよりも離れることで発生する切断の危険性を判定できる。

$$\text{Signal Level} = \frac{P_t}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

ある隣接ノードからの Hello パケット受信時の信号レベルが閾値と直前の信号レベルを下回り、そのノードを次ホップとする通信中のルートエントリが経路表にある場合、その経路 (複数ある場合は全ての経路) が切断危険であると判定し、上流ノードに切断危険を通知する。

その後、一定時間その上流ノードから送信された RREQ を処理せず破棄する。これは再び同じ経路が確立されるのを防

ぐためである。

3.2 経路重複

ある中間ノードに複数の通信中の経路上にあるとトラフィックが集中することで遅延が増え、バッテリーも早く消費され、そのノードがダウンすることで複数の経路が同時に切断されてしまう。またアドホックネットワークにおいて、特定のノードに負荷が集中しないとする公平性に関しても問題である。

このため中間ノードにおいて、経路が重複し、かつ単位時間当たりの受信データパケット数が通信開始からの平均受信データパケット数を上回る場合、切断危険であると判定する。複数の経路の中から送信元ノードへのホップ数が小さいものを1つ選び、その上流ノードに切断危険を通知する。その後、一定時間は受信する RREQ を処理せず破棄する。

ただし、宛先または送信元ノードから1ホップ以内の中間ノードは切断危険を判定しても上流に通知しないものとする。これは経路重複に関して本質的な切断要因ではないため、宛先または送信元ノードに隣接するノードにおいては過剰な経路の切替を避けるためである。

3.3 バッテリ残量

アドホックネットワークを構成する各モバイル端末はバッテリーにより動作する。中間ノードのバッテリーがなくなると通信不可能となり、経路が切断されるため、自身のバッテリー値を判定する。

中間ノードにおいて、自身のバッテリー残量が閾値を下回る場合、通信中である全ての経路の上流ノードに切断危険を通知する。その後、バッテリーが回復するまで受信する RREQ は処理せず破棄する。

3.4 周辺密度

通信媒体が無線メディアのため、パケットを送信するノードはアクセス制御において、周辺ノードで共有する無線チャネルを獲得してからパケットを送信する。このため中間ノード周辺のノード数が増え密度が上昇すると、チャネル獲得が競合し獲得するまでの遅延が増えてしまう。このため切断と通信遅延上昇の原因となる密度(周辺ノード数)を判定する。

AODVでは各ノードが定期的に Hello パケットを送信することから単位時間内に受信する Hello パケット数が周辺に存在するノード数に近いといえる。周辺の密度を求めるためにまず、各ノードは単位時間当たりに受信する Hello パケット数を HELLO_COUNT という変数として定義する。次に自身が送信する各 Hello パケットに HELLO_COUNT を含ませ送信する。そして、受信した Hello パケット内の HELLO_COUNT の平均を AVERAGE_DENSITY (周辺1ホップ以内の各ノードにおける周辺ノード数の平均) という変数とする。

中間ノードにおいて、自身の HELLO_COUNT がこの AVERAGE_DENSITY を上回る場合に、通信中である全ての経路の上流ノードに切断危険を通知する。ただし、自身の HELLO_COUNT が閾値(密度が高いとされる一定値)を下回る場合は切断危険であると判定しない。その後、自身の HELLO_COUNT が正常に戻るまで受信する RREQ は処理せず破棄する。また、経路の重複と同様に宛先、送信元ノードから1ホップ以内の中間ノードは切断危険を判定しても上流に通知しないとする。

3.5 切断回避処理

図3を用いて経路の切断危険の判定後の切断回避処理手順(1)～(4)を述べる。

- (1) ノード B は切断危険を判定すると、該当する全ての経路のルートエントリ内のルーティングフラグを WEAK とし、その宛先を不到達宛先とした

RERR をブロードキャストする。またこの RERR 内の flag W をオンとする(この flag により受信時に経路を無効とせず WEAK とする)。

- (2) 通知されたノード A はノード B を次ホップとするルートエントリ内のルーティングフラグを WEAK とし、再び RERR をブロードキャストする。また切断危険を通知したノード B から送信された RREQ を一定時間内は破棄する。
- (3) 送信元 S がこの RERR を受信すると同様にエントリ内のルーティングフラグを WEAK にし、宛先経路を再探索するために宛先に向けて RREQ をブロードキャストする。
- (4) 送信元 S がノード C から RREP を受信すると、ルーティングフラグが WEAK の経路から新しい経路に更新される。

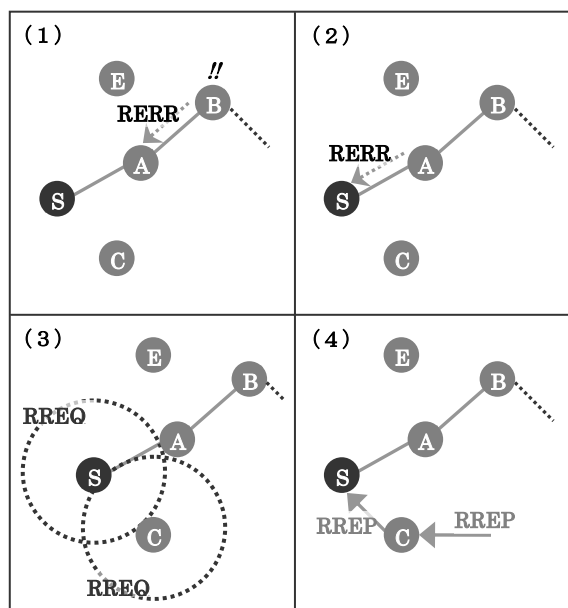


図3 切断回避処理

ルートエントリのルーティングフラグが WEAK であるときは次ホップヘデータパケットを送信可能であるが、そのエントリの宛先への RREQ を受信しても RREP を送信しないとし、そのリンクが切断しても RERR を送信しないとす。また一定時間経過後にこのエントリを無効とする。

このように切断危険判定後に上記の処理が行われることで経路の切断が回避され、またこの間の通信が途切れることはない。

4. シミュレーションによる評価

提案方式の性能評価のするために、ns-2 [8]を用いたシミュレーションを実行する。

4.1 シミュレーション環境

送信元ノード S と宛先ノード D をフィールド隅に対角線上に固定し S-D 間の通信特性を求める。表1にシミュレーション環境の詳細を、表2に提案方式における切断危険を判定のための各閾値を示す。

パラメータとしてノード数、ノード S 以外の他のノードに対して通信を行う送信元数、各ノードの最大移動速度(m/s)の3つを変化させる。あるパラメータを変化させる時、その他2つは真ん中の値を使用する。各環境でそれぞれ10回実行し、その平均を結果として以降のグラフに示す。

表1 シミュレーション環境

シミュレータ	ns-2.27
フィールド	1000 × 1000 m ²
ノード S 座標	(x, y) = (100, 100)
ノード D 座標	(x, y) = (900, 900)
ノード数	100, 150, 200
送信元数	0, 5, 10
最大移動速度	5, 10, 20 m/sec
移動モデル	Random way point
ポーズタイム	1 sec
通信時間	60 sec
データサイズ	512 bytes
送信レート	4 pps (CBR)
キューサイズ	64 packets
キュータイムアウト	30 sec
トランスポート層	UDP
MAC 層	IEEE802.11 DCF
アンテナタイプ	Omni アンテナ
無線伝播モデル	Two-ray ground
通信レンジ	250 m
伝送速度	1 Mbps
初期バッテリー値	10 W
送受信時消費電力	0.28 W/sec

表2 切断危険判定の各閾値

受信電波	4.3e-10 W (240 m 相当)
バッテリー残量	1 %
周辺密度	50 nodes

4.2 シミュレーション結果と考察

シミュレーション結果として、図4から図7に経路切断回数と総切断時間、パケット到着率、通信遅延、ルーティングオーバーヘッドを示す。

図4にS-D間の経路切断回数と総切断時間を示す。提案方式が従来方式より切断回数と切断時間がともに減少しているのがわかる。これにより切断危険の判定がある程度正しく判定され、切断が回避されていると評価できる。

図5に送信元ノードSで通信要求が発生したパケット数の内の宛先ノードDに到着した割合であるパケット到着率を示す。提案方式において経路切断による損失パケット数が減少したため、従来方式に比べて提案方式のパケット到着率が上昇している。

図6にS-D間の通信遅延を示す。ここでの通信遅延は送信元での各パケットの通信要求発生時から、そのパケットを宛先が受信するまでの時間を示し、有効な宛先経路がない場合の送信待ち時間も含まれる。提案方式において経路切断後の再探索時の送信待ち時間が短縮したため、従来方式に比べて提案方式の通信遅延が低減している。

図7にS-D間のルーティングオーバーヘッドを示す。本研究では次式をルーティングオーバーヘッドと定義する。

$$Routing\ overhead = \frac{\sum_{i=1}^M a_i \cdot b_i}{\sum_{j=1}^N c_j \cdot d_j + \sum_{i=1}^M a_i \cdot b_i}$$

MはS-D間のHelloパケットを除く経路制御パケット数で、a_iとb_iはそれぞれ各経路制御パケットの送信転送回数とパケットサイズである。Nは宛先ノードDに到着したデータパケット数で、c_jとd_jはそれぞれ各データパケットの宛先ホップ

数とパケットサイズである。従来方式に比べて提案方式のオーバーヘッドがわずかに増加しているのがわかる。これは提案方式が経路切断前に経路再構築を行うことで、全体の経路探索回数が増加するためである。

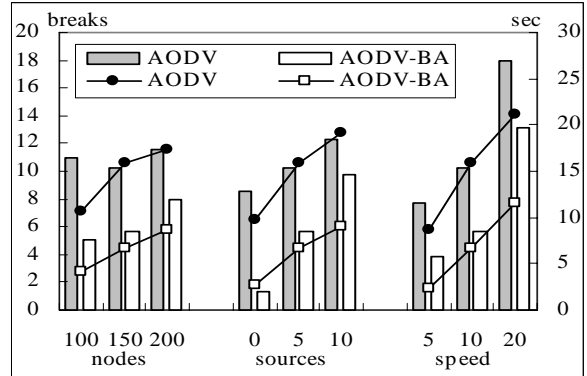


図4 経路切断回数 (棒) と総切断時間 (折れ線)

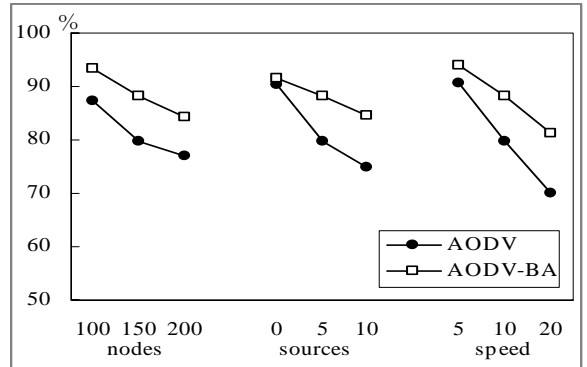


図5 パケット到着率

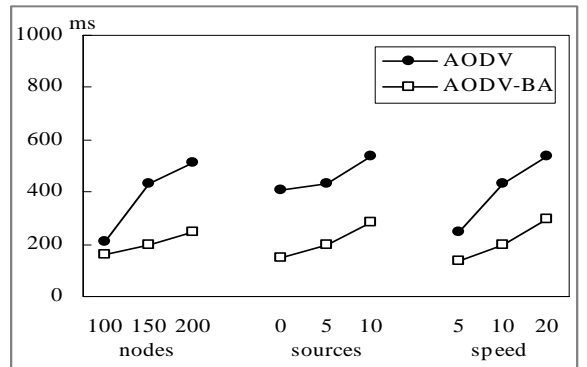


図6 通信遅延

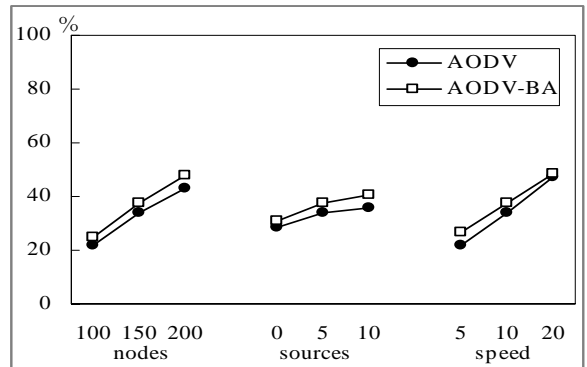


図7 ルーティングオーバーヘッド

以上のシミュレーションの結果、従来の AODV と比較して経路切断回数と総切断時間が半減し、パケット到着率が 8%、通信遅延が 200 ms 向上している。経路切断の減少に伴い、ロスパケット数および再探索時のパケット送信待ち時間が低減したため、パケット到着率と通信遅延が向上したと考えられる。一方、ルーティングオーバーヘッドに関しては、経路探索回数の増加に伴い上昇したが、わずか 3% の増加に抑えられている。したがって、従来方式より提案方式が有効であると言える。

5. 実装と実験

前章ではシミュレーション評価により提案方式の有効性を示した。しかし、提案方式において受信電波は主要な判定要素であるが、シミュレーションではノード間の距離に応じて受信電波が算出される。このためシミュレーション環境では受信電波を非常に正確に判定することができる。これに対して、実環境では様々な要因から電波の信号レベルが変動するため、正確に切断危険を判定できるとは限らない。このため、本章では実環境での実験による評価を行うことで、提案方式が実環境でも対応できることを評価し、また実際に経路切断が通信に与える影響を測定する。

5.1 提案方式の改良

図 8 に 1 ホップのノード間で Ping パケットを送信しながら一方のノードが移動し、ノード間の距離を大きくしたときの、受信信号レベルの実測値を示す。

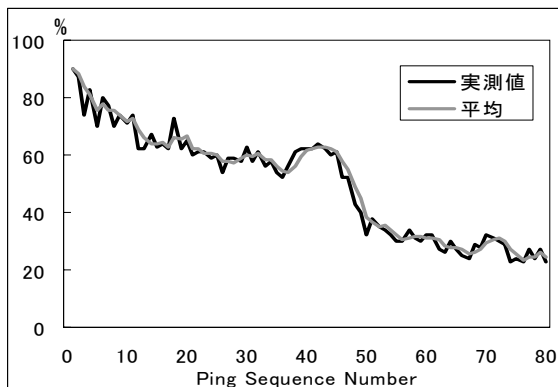


図 8 信号レベルの減衰 (実測値と過去 3 回の平均)

実際に距離が増加するにつれ、信号レベルが減衰していることがわかる。信号レベルはノード間の障害物やフェージングなどの原因により、信号レベルが変動しながら減衰している。このため提案方式において切断危険の判定では次式 (S_n : 信号レベル) のような過去 3 回の平均値を用いる。平均値を用いることで図 8 のように信号レベルの変動が平滑化される。また今回の実験ではこの閾値を信号レベル 30% と設定する。

$$\frac{S_n + S_{n-1} + S_{n-2}}{3} < Threshold$$

5.2 実験環境とシナリオ

表 3 のハードウェア環境を用いて、屋内で 4 ノード (ノード A, B, D, S) のアドホックネットワークを構成する。ただし、隣接ノード間で壁などの障害物がない環境で行う。

表 3 ハードウェアプラットフォーム

ノート PC	Pentium M: 1.4 GHz, メモリ: 512 MB
無線メディア	IEEE802.11b, 11 Mbps, PCMCIA card
OS	Fedora Core 4, Kernel 2.6.11-1

ネットワークトポロジとして、図 9 のようにノード S と D の間が 1 ホップで通信できないように距離をおき、その間にノード A と B を配置する。下記のシナリオ (1) ~ (4) で実験を行う。

- (1) ノード S がノード A を介してノード D への経路を確立し、通信を開始する。
- (2) その後ノード A が約時速 3 km で移動し、ノード A-D 間のリンクが切断する。リンク切断を検出したノード A は RERR を送信する。ただし、提案方式ではリンク切断前に RERR を送信する。
- (3) RERR を受信したノード S は経路の再探索のため RREQ をブロードキャストし、ノード B を介してノード D からの RREP を受信する。
- (4) 経路が再構築された後、数秒後に通信が終了する。

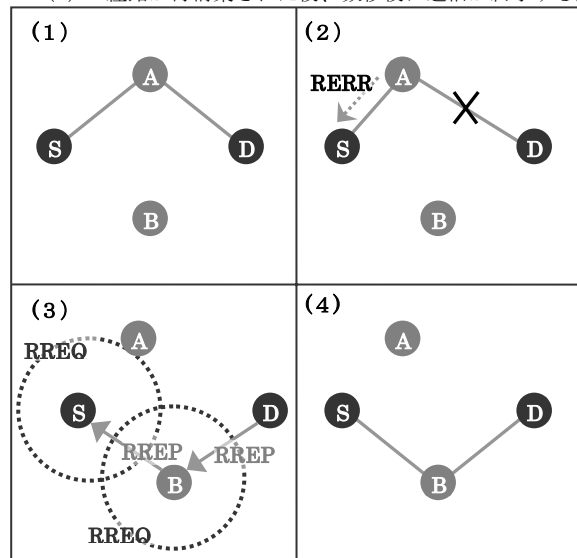


図 9 ネットワークトポロジとシナリオ

評価項目をスループットと Round Trip Time (RTT) とし、測定するためにノード S から D へ向けて以下の通信をそれぞれ 60 秒間行う。スループットの測定のために MTU と同じ最大サイズ 1500 byte の UDP パケットをノード S がノード D へ送信する。RTT の測定のために VoIP パケットを模擬した通信を行う。ここで VoIP は G.711 で符号化したときの IP 電話を想定する。G.711 を用いると PCK (パルス符号変調、64 kbps) で音声データを 125 ms 間隔の 8 bit でサンプリングし、20 ms 間隔でパケット化して音声データを送信する。このため各パケットサイズは 160 byte となる。この VoIP を模擬したパケットをノード S が送信し、ノード D はこのパケットを受信後、直ちに返信する。また各パケットの RTT を測定するためにタイムスタンプとシーケンス番号を付加する。

- スループットの測定: UDP ストリーム
 - パケットサイズ: 1500 byte
 - IP+UDP+Payload (20+8+1472 byte)
- RTT の測定: UDP パケットの往復
 - パケットサイズ: 200byte
 - IP+UDP+RTP+Voice (20+8+12+160 byte)
 - IP+UDP+Payload (20+8+172 byte)
 - 送信間隔: 20ms 間隔

5.3 実験結果と考察

上述した環境とシナリオで数回実験を行い提案方式と従来の AODV におけるスループットと RTT の変化を測定し、経路切断や経路代替時の通信状態を比較する。また参考のために各ノードが静止した状態で経路切断が起こらない場合の 1 ~ 3 ホップのスループットと RTT の平均値を図 10 に示す。

グラフからホップ数が増加するにつれスループットが低下しRTTが上昇しているのがわかる。特にスループットが著しく、3ホップでは約2 Mbpsまで低下している。

図11は提案方式と従来のAODVにおけるスループットの変化である。AODVにおける30 sec直前にスループットの低下が見られる。これは、この時にノードAとDのリンクが切断し、その後再探索を行われ経路が切替ったためである。このため一時通信が途切れ、スループットが700 kbps程度低下している。それに対して提案方式では事前に経路が切り替わったためスループットの低下が見られない。

図12はAODV、図13は提案方式におけるRTTの変化である。横軸は各擬似VoIPパケットのシーケンス番号であり、RTTが0 msはパケットロスを表している。図12のAODVにおけるシーケンス番号1500直前にパケットが数個ロスしているのが見られる。これは、上記のスループット低下と同様に経路切断が起こったためである。それに対して提案方式では事前に経路が切替っているためパケットがロスせず、通信が途切れていない。

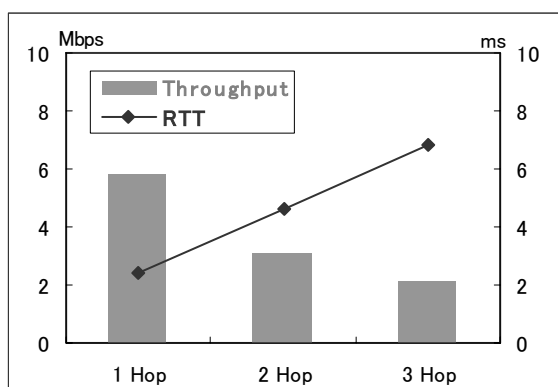


図10 静止状態でのスループットとRTT

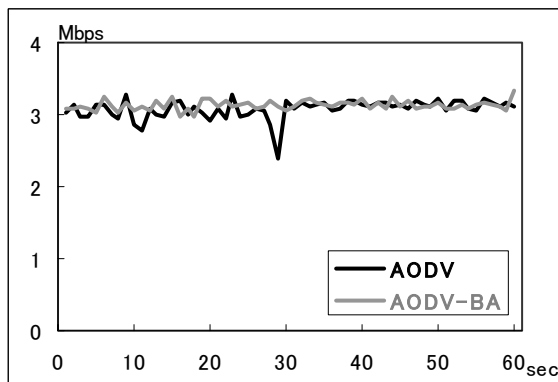


図11 スループットの変化

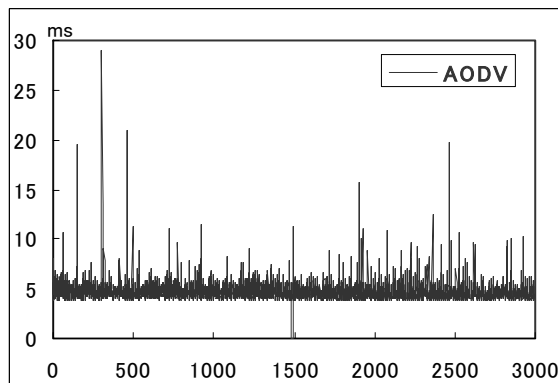


図12 AODVにおけるRTTの変化 (0 ms : 損失)

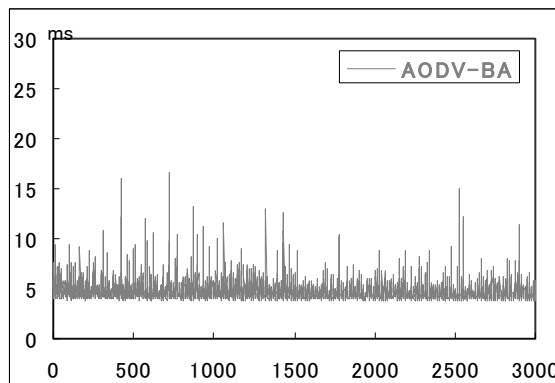


図13 AODV-BAにおけるRTTの変化

このようにAODVにおいて、経路切断によりスループットが低下しパケットロスが発生するのに対して、提案方式ではそれが回避されている。またノード数がより多く中間ノードがより移動する環境や、再送を行うTCP通信の場合、AODVと提案方式の差がより顕著になると考えられる。

この実験の結果、提案方式が実環境においても、ある程度正確に経路切断の危険を判定し、事前に経路を切替えることによって、AODVと比較して通信性能が向上するといえる。

6. まとめ

本論文ではMANETにおけるルーティングプロトコルとして、通信中の経路上にある中間ノードが4つの判定要素を元に経路の切断危険を判定し、切断前に再構築を行うことで切断を回避するAODV-BAを提案した。シミュレーション評価の結果、提案方式はAODVより経路切断を回避し、パケット到着率、通信遅延を向上したのに対して、オーバーヘッドの増加がわずかに抑えている。また、実環境での実験による評価の結果、通信中の経路切断時にAODVではスループットが低下しパケットロスが発生するのに対して、提案方式ではそれが見られなかった。以上の結果、AODVと比較して通信性能の向上がみられることから提案方式の有効性が示された。

今後の課題として、実環境における実験でノード数の増加、2ホップ以上での通信性能の評価や提案方式における切断危険の残りの判定項目についての評価など、より詳細な実験を行う必要がある。また提案方式での受信電波の判定方法において、より確実な切断危険の判定方法の改善が挙げられる。

参考文献

- [1] MANET, "Mobile Ad-hoc Networks", <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] 阪田史郎, ワイヤレス・ユビキタス, 秀和システム, 2004
- [3] C.-K. Toh, 構造計画研究所, モバイルワイヤレスネットワーク, 共立出版, 2003
- [4] C.-K. Toh, "Long-lived Ad Hoc Routing based on the Concept of Associativity", IETF MANET Working Group Inter Draft
- [5] Mahesh K. Marina, and Samir R. Das, "On-Demand Multi-path Distance Vector Routing in Ad-hoc Networks", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, July, 2002
- [6] AODV, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing", RFC3561
- [7] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications Principles and Practice, Prentice Hall, 2001
- [8] ns-2, "The Network Simulator version 2", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>